

## **Uferschutz und Ökologie – Untersuchungen zu Möglichkeiten und Grenzen naturnaher Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen**

Eisenmann, Jeannine  
Fleischer, Petra  
Dr. Soyeaux, Renald

Um die Ufer von Binnenwasserstraßen dauerhaft vor Erosionen und anderen negativen Auswirkungen infolge hydraulischer Belastung aus Schifffahrt zu schützen, werden diese in der Regel mit technischen Deckwerken aus Steinschüttungen oder Spundwänden gesichert. Grundlage der Anwendung ist ein breites Regelwerk der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Seit Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie im Jahr 2000 erhalten ökologische Gesichtspunkte bei allen Aus- und Neubaumaßnahmen an Wasserstraßen zunehmend einen größeren Stellenwert. Auch im Rahmen der Unterhaltung sind technische und ökologische Aspekte jetzt gleichermaßen zu berücksichtigen. Dementsprechend sind verstärkt naturnahe, technisch-biologische Ufersicherungen als Alternative zur klassischen Steinschüttung anzuwenden. Für deren Einsatz an Wasserstraßen gibt es bisher allerdings nur sehr wenig Erfahrungen und auch keine Regelwerke. Aus diesem Grund werden seit einigen Jahren Untersuchungen zur hydraulischen Belastbarkeit technisch-biologischer Ufersicherungen unter Berücksichtigung der Schifffahrt mit dem Ziel durchgeführt, Anwendungsempfehlungen und Bemessungsgrundlagen für deren Einsatz an Binnenwasserstraßen zu erarbeiten. In dem folgenden Beitrag werden erste Beispiele für erfolgreich angewendete naturnahe Ufersicherungen an Wasserstraßen gezeigt. Die Wirkungsweise biologischer Ufersicherungen hinsichtlich Erosionsschutz und Böschungstabilität wird im Vergleich zu rein technischen Ufersicherungen erläutert. Aktuelle Planungen für eine Versuchsstrecke am Rhein, in der verschiedene technisch-biologische Ufersicherungen - begleitet von einem umfangreichen Monitoringprogramm - getestet werden sollen, werden vorgestellt. Es wird ein Ausblick über weiterführende Untersuchungen gegeben.

### **1 Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen**

In Deutschland gibt es ca. 6600 km Binnenwasserstraßen, davon sind etwa 41 % staugeregelte und 35 % frei fließende Flussstrecken sowie 24 % künstliche Wasserstraßen (Kanäle). Die Schifffahrt führt zu maßgeblichen hydraulischen Belastungen der Ufer- und Sohlenbereiche der Wasserstraßen. In Flüssen erfolgt eine

zusätzliche hydraulische Belastung durch Hochwasser. Die Ufer und zum Teil auch Sohlenbereiche sind deshalb in der Regel über weite Strecken konstruktiv durch Deckwerke aus Wasserbausteinen geschützt. Bemessungsbasis sind die theoretischen „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlsicherungen an Binnenwasserstraßen“ /GGB, 2004/ und das überarbeitete Merkblatt für Regelbauweisen /MAR, 2008/. Anhand der darin enthaltenen Richtlinien und Empfehlungen kann die Standsicherheit der Ufer unter den hydraulischen Belastungen in den Wasserstraßen gewährleistet werden.

Mit Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2000 haben neben den technischen Anforderungen ökologische Gesichtspunkte einen wesentlich größeren Stellenwert bei allen Aus- und Neubau- sowie Unterhaltungsmaßnahmen an Wasserstraßen erhalten. Ziel der WRRL ist ein stärker ökologisch ausgerichteter, ganzheitlicher Gewässerschutz. Bis 2015 soll bei allen oberirdischen Gewässern ein „guter ökologischer Zustand“ bzw. bei erheblich veränderten künstlichen Gewässern ein „gutes ökologisches Potential“ erreicht werden. Leitbild ist der natürliche Gewässerzustand. Neben der Wiederanbindung von Altarmen geht es u.a. um stärkere Berücksichtigung ökologischer Aspekte beim Uferschutz. Das bedeutet, dass zunehmend naturnahe Alternativen zum klassischen Schüttsteindeckwerk als Ufersicherung gefragt sind. Wesentlicher Aspekt naturnaher Ufersicherungen ist die Einbeziehung von lebenden und/ oder toten Pflanzenteilen und Pflanzen wie beispielsweise Bäumen, Sträuchern oder Röhrichten. Je nach hydraulischer Belastung sind rein biologische Ufersicherungen oder Kombinationen aus technischen und biologischen Bestandteilen anwendbar. Erfahrungen mit diesen Ufersicherungen liegen bisher überwiegend nur für kleinere Fließgewässer vor. Systematische Untersuchungen zur hydraulischen Belastbarkeit von alternativen Ufersicherungen in schifffahrtsbelasteten Wasserstraßen wurden bislang nicht durchgeführt. Aus diesem Grund wurde 2004 ein gemeinsames Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) initiiert mit dem Ziel, dem planenden Ingenieur Empfehlungen und fundierte Bemessungsgrundlagen zur Anwendung von alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen in Schifffahrtsstraßen zur Verfügung zu stellen.

Zunächst wurden ausgewählte Wasserstraßenabschnitte, in denen in den letzten 20 Jahren bereits lokal begrenzt technisch-biologische Ufersicherungen zu Versuchszwecken eingebaut wurden, detailliert hinsichtlich Uferstabilität und Erosionsschutz sowie Vegetation, Fauna und Ökologie begutachtet und entsprechend den jeweils gegebenen geotechnischen und hydraulischen Randbedingungen beurteilt. Erste quantitative Einschätzungen zur Belastbarkeit dieser Ufersi-

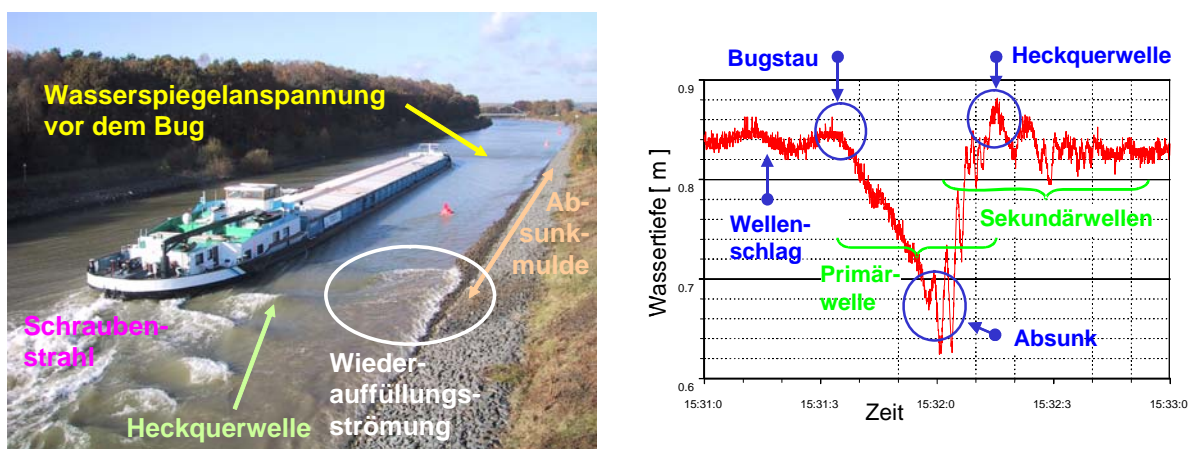
cherungen sind auf dieser Grundlage möglich. Parallel dazu werden gegenwärtig vertiefende Labor- und Modelluntersuchungen in der Bundesanstalt für Wasserbau durchgeführt, um die Wirkungsweise biologischer Uferschutzmaßnahmen im Detail nachvollziehen und in theoretischen Bemessungsgrundlagen umsetzen zu können. In Zusammenarbeit mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim wird zur Zeit eine Versuchsstrecke am Rhein geplant, in der verschiedene naturnahe Ufersicherungsmaßnahmen unter definierten Randbedingungen getestet werden sollen.

## 2 Hydraulische Belastungen der Ufer infolge Schifffahrt

Alternative technisch-biologische Ufersicherungen mit pflanzlichen Komponenten können nur oberhalb des Wasserspiegels bzw. im Wasserwechselbereich angewendet werden. Unterhalb des Wasserspiegels bleiben in der Regel die rein technischen Ufersicherungen, meist Deckwerke aus losen Schüttsteinen, zur Gewährleistung der Böschungstabilität erforderlich. Die Art der möglichen alternativen Ufersicherungen hängt neben der Böschungsgeometrie und dem anstehenden Boden hauptsächlich von den hydraulischen Belastungen der Ufer ab.

Die Ufer der Binnenwasserstraßen sind hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt, in Flusstrecken ggf. zusätzlich infolge Hochwasserabfluss ausgesetzt. Bei der Betrachtung der Belastungen infolge Schifffahrt ist zu unterscheiden zwischen einem in einem Wasserstraßenabschnitt mit etwa gleichmäßiger Geschwindigkeit fahrenden Schiff und dem in Vorhäfen, Liegestellen o.ä. anfahrens oder abbremsenden Schiff, d.h. einem manövrierenden Schiff. In beiden Fällen sind unterschiedliche hydraulische Einwirkungen für die Bemessung einer Ufer- und Sohlensicherung relevant. Für die alternativen Ufersicherungen sind in erster Linie die Belastungen infolge Fahrt eines Schiffes in der Strecke maßgebend.

Ein Schiff, das mit einer bestimmten Geschwindigkeit durch die Wasserstraße fährt, erzeugt durch die hydraulische Wechselwirkung zwischen Schiff und Wasserstraße lokale und temporäre Veränderungen der Wasseroberfläche und der Strömungen unter und neben dem Schiff. Es entstehen Wellen und schiffsinduzierten Strömungen, die als hydraulische Belastungen auf Ufer und Sohle des Gewässers wirken (siehe Abb. 1).



**Abbildung 1:** Hydraulische Belastungen infolge Schifffahrt, rechts: am Ufer gemessene Wasserspiegelanspannung während einer Schifffahrt

Dem fahrenden Schiff eilt auf ca. einer Schiffslänge eine Wasserspiegelanspannung von wenigen Zentimetern Höhe voraus. Dem Bug direkt wandert ein Aufstau (Bugstau) vorher. Während der Passage des Schiffes reduziert sich der Fließquerschnitt im Bereich des Schiffes, dadurch kommt es zu einer Verdrängungsströmung (Rückströmung) zum Heck hin. Die Rückströmung bedingt eine Absenkung des Wasserspiegels neben dem Schiff (Absenk). Am Heck des Schiffes gleichen sich die Abflussverhältnisse wieder aus, was mit einer Wasserspiegelanhebung, der Heckquerwelle und einer Wiederauffüllungsströmung in Fahrtrichtung verbunden ist. Diese gesamte Abfolge aus Bugwelle, Absenkmulde und Heckwelle längsseits des Schiffes wird als Primärwelle bezeichnet. Die Wellenlänge entspricht etwa der Schiffslänge. An Bug und Heck des Schiffes entstehen gleichzeitig aufgrund der Konturänderungen regelmäßige, kurzperiodische Wellen, die Sekundärwellen. Bei ufernaher Fahrt wirken zusätzlich die Rückströmung unter und neben dem Schiff, die sich ggf. mit der natürlichen Strömung im Gewässer überlagert, und die Wiederauffüllungsströmung auf das Ufer. Alle genannten schiffsinduzierten Belastungen werden umso größer, je kleiner das Verhältnis des Wasserstraßenquerschnitts zum eingetauchten Schiffsquerschnitt ist und je schneller und näher am Ufer das Schiff fährt.

### 3 Wirkungsweise technischer und pflanzlicher Ufersicherungen

Die wichtigsten Aufgaben sowohl technischer als auch pflanzlicher Ufersicherungsmaßnahmen an Binnenwasserstraßen sind die Gewährleistung einer ausreichenden Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion und einer ausreichenden geotechnischen Standsicherheit des Ufers, das überwiegend als Böschung ausgebil-

det ist. Kann dies allein mit pflanzlichen Maßnahmen nicht erreicht werden, können Kombinationen, sogenannte technisch-biologische Ufersicherungen, als Alternative zu rein technischen Ufersicherungen angewendet werden.

**Erosionssicherheit:** Die Wellenbelastungen (Heck- und Sekundärwellen) und Strömungsbelastungen (Rück- und Wiederauffüllungsströmung) infolge Schifffahrt und die Strömungsbelastung infolge natürlicher Strömung, insbesondere infolge des Hochwasserabflusses, können zu einer Oberflächenerosion der Ufer führen. Ein Schutz ist immer dann erforderlich, wenn der anstehende Boden selbst nicht erosionsstabil ist. Werden technische Deckwerke aus losen Wasserbausteinen angewendet, wird die erforderliche Einzelsteingröße bzw. das erforderliche Einzelsteingewicht so dimensioniert, dass die Einzelsteine bei allen auftretenden Belastungen lagestabil sind /GBB, 2004/.



**Abbildung 2:** Biologische Ufersicherungen, links: Spreitlagen, Mitte: Vegetationsmatten, rechts: Stechkölzer

Ufersicherungen aus lebenden oder toten Pflanzenteilen oder Pflanzen können unter bestimmten Voraussetzungen einen guten Erosionsschutz für Böschungen darstellen. Ist nach Fertigstellung der Ufersicherung eine sofortige hydraulische Belastung - wie in der Wasserstraße - zu erwarten, muss unmittelbar ein flächendeckender Schutz gewährleistet sein. Ist der anstehende Boden selbst nicht erosionsstabil, müssen die pflanzlichen Ufersicherungen die Böschung von vorn herein flächig schützen. Möglich ist das z.B. durch flächig verlegte Weidenspreitlagen oder lückenlos eingebaute Vegetationsmatten (siehe Abb. 2). Sie sind bei entsprechender Ausführung selbst erosionsstabil und verhindern gleichzeitig Materialaustrag aus dem anstehenden Boden. Nur punktuell oder auch linear wirkende Schutzmaßnahmen wie z.B. im Raster eingebaute Stechkölzer (siehe Abb. 2) bzw. Faschinenreihen sind als alleinige Maßnahme in der Regel nicht ausreichend. Der nicht erosionsstabile Boden wird in diesem Fall um die punktuellen Sicherungen erodiert. Langfristig wird dadurch auch die über die Wurzel vorhandene Verankerung der Einzelpflanze im Boden geschwächt, so dass auch diese nicht dauerhaft stabil erhalten bleiben kann. So haben beispiels-

weise umfangreiche Untersuchungen an einem Flussabschnitt in Wien 1999 gezeigt, dass in diesem Fall immer die Erosionsstabilität des anstehenden Bodens maßgebend für das gesamte Ufer ist /Florineth, 2004/. Generell ist bei Verwendung pflanzlicher Ufersicherungen der Anfangszustand der ungünstigste Zustand, die Belastbarkeit nimmt in der Regel mit zunehmender Entwicklungszeit der Vegetation zu. Dies ist bei den Planungen zu bedenken.

**Böschungsstabilität:** Die Standsicherheit der Uferböschungen ist während einer Schiffspassage durch Porenwasserüberdrücke im anstehenden Boden beeinflusst, die durch den Wasserspiegelabsenk hervorgerufen werden können. Die Größe des Porenwasserüberdrucks hängt neben der Größe des Wasserspiegelabsinks und der Absinkgeschwindigkeit maßgeblich vom anstehenden Boden, insbesondere von dessen Durchlässigkeit und Scherfestigkeit ab /Kayser, Holfelder, 2006/. Ist die Standsicherheit der vorhandenen ungeschützten Uferböschung nicht gegeben, muss als Uferschutz ein technisches Deckwerk aus Wasserbausteinen mit einem entsprechenden Flächengewicht so bemessen werden, dass ein böschungsparalleles Abgleiten in einer oberflächennahen Bodenschicht verhindert und auf diese Weise die Standsicherheit der Böschung trotz Porenwasserüberdrücken gewährleistet wird /GBB, 2004/.

Diese Versagensmechanismen betreffen jedoch nur den Böschungsbereich unterhalb des infolge Schifffahrt abgesenkten Wasserspiegels, in dem pflanzliche Ufersicherungen in der Regel nicht vorhanden sind. Die beschriebenen Mechanismen spielen dementsprechend nur an Flüssen eine Rolle, bei denen die alternativen Ufersicherungen längere Zeit durch Hochwasser eingestaut sein können bei gleichzeitig noch stattfindender Schifffahrt. Hier muss die Böschungsstabilität bei Porenwasserüberdrücken - wenn erforderlich - durch die pflanzliche Ufersicherung gewährleistet werden. Ein entsprechendes Gewicht wie bei den Deckwerken kann mit den biologischen Ufersicherungen nicht erreicht werden. Ein Abgleiten in einer oberflächennahen Gleitfläche im Boden wird durch eine entsprechende Verwurzelung entweder durch Einzelwurzeln im Sinne einer bodenmechanischen Vernagelung oder durch ein dichtes, verzweigtes, feines Wurzelsystem im Sinne einer Bodenkohäsion erreicht. Eine Vernagelung ist beispielsweise durch Stekhölzer oder Setzstangen, eine Bodenkohäsion durch Schilfanpflanzungen oder eine Grasnarbe erreichbar. Hier gilt allerdings auch, wie für die Erosionsstabilität, dass die Entwicklungszeit der Vegetation entscheidenden Einfluss auf die böschungsstabilisierende Wirkung der pflanzlichen Ufersicherungen hat.

Die gegenwärtig laufenden Untersuchungen zur quantitativen Beurteilung dieser standsicherheitserhöhenden Wirkung von pflanzlichen Ufersicherungsmaßnahmen sind derzeit noch nicht abgeschlossen. Erste Ergebnisse aus praktischen Erfahrungen an einzelnen Wasserstraßenabschnitten liegen jedoch bereits vor.

#### 4 Erfahrungen aus praktischen Anwendungen

Seit 2004 werden ausgewählte Wasserstraßenabschnitte, in denen bereits technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen angewendet wurden, detailliert untersucht. Betrachtet werden jeweils die Bauweisen, der Erhaltungszustand, der bisherige Unterhaltungsaufwand, die hydraulischen Belastungen, die Ufergeometrie und der anstehender Baugrund, die Entwicklung der Vegetation und Fauna sowie die ökologische Situation. Drei Beispiele seien im Folgenden kurz erläutert:



**Abbildung 3:** Untersuchungsstrecken, links: Mittelweser, rechts UHW

Mittelweser km 241,55 bis km 242,30: 1988 wurden hier die Deckwerke aus losen Wasserbausteinen oberhalb des hydrostatischen Staus zurückgebaut, die Ufer größtenteils abgeflacht und verschiedene alternative Ufersicherungen wie beispielsweise Röhrichte, Weidensteckhölzer, Spreitlagen und Vegetationsmatten eingebaut (Abb. 3, linkes Foto, aufgenommen 2006). Alle Details und erfassten technischen, vegetativen und faunistischen Randbedingungen sind in einem ausführlichen Bericht zusammengestellt /BAW, BfG, 2008/. Die gemessenen hydraulischen Belastungen sind vergleichsweise gering. Die maximale Strömungsgeschwindigkeit bzw. Schubspannung beträgt in Ufernähe 1 m/s bzw. 6 N/m<sup>2</sup>, der Absenk in Folge Schifffahrt im Mittel 14 cm (maximal 39 cm), die Heckwellenhöhe im Mittel 15 cm (maximal 64 cm). Insgesamt können die alternativen Ufersicherungsmaßnahmen an der Weser als sehr erfolgreich eingeschätzt werden.

Untere Havel-Wasserstraße (UHW) km 35,70: Auf einer Länge von 70 m wurden 1993 am Nordufer Vegetationsmatten in verschiedenen Ausführungen und unterschiedliche Einzelpflanzen (Pflanzenballen) eingebaut. Unabhängig vom Aufbau der Matten und der Initialbepflanzung weist die Ufersicherung heute einen sehr guten Zustand auf (Abb. 3, rechtes Foto, aufgenommen 2001). Der Wasserstraßenquerschnitt ist hier auf eine Wasserspiegelbreite von etwa 120 m erweitert und damit deutlich größer als in üblichen Kanalprofilen wie beispielsweise des Mittellandkanals. Die Uferbelastungen infolge Schifffahrt sind dementsprechend auch hier gering und liegen etwa in der Größenordnung der an der Weser gemessenen Werte.



**Abbildung 4:** Untersuchungsstrecke MLK, jeweils Blick auf das relevante Ufer

Mittellandkanal (MLK) km 189,50 bis km 190,00: Der MLK entspricht hier der Wasserstraßenklasse Vb mit einem Rechteck-Trapezprofil (Wasserspiegelbreite 48,5 m, Wassertiefe 4,0 m). Täglich verkehren an dieser Stelle etwa 70 Güterschiffe, die hydraulische Belastung infolge Schifffahrt ist vergleichsweise hoch. Die eigentliche nördliche Ufersicherung ist eine Spundwand, die abschnittsweise kurz unter bzw. über dem Wasserspiegel endet, darüber schließt sich eine technisch gesicherte Böschung an. Im Schutze der Spundwand konnte sich der 1989 angepflanzte Schilf- und Seggenbewuchs sehr schnell und dauerhaft entwickelt, so dass insgesamt eine ökologisch aufgewertete technisch-biologische Ufersicherung entstanden ist - ein guter Kompromiss für Wasserstraßenabschnitte mit hoher hydraulischer Belastung (Abb. 4, Fotos, aufgenommen 2005).

Weitere Ergebnisse zu den untersuchten Einzelstrecken sind im gemeinsamen Internetportal der BAW und BfG zur Thematik „Alternative Ufersicherungen“ unter [www.baw.de](http://www.baw.de) veröffentlicht.



## 5 Aktuelle Planungen für eine Versuchsstrecke am Rhein

Auf der Grundlage der bisher vorhandenen praktischen Erfahrungen und in Kombination mit vertiefenden Untersuchungen im Labor und in Modellen wird gegenwärtig in Zusammenarbeit mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim eine Pilotstrecke am rechten Rheinufer bei Worms (km 440,6 bis km 441,6) vorbereitet. Hier sollen unter genau ermittelten, definierten Randbedingungen verschiedene technisch-biologische Ufersicherungsarten in einem Großversuch getestet werden. Da der Abschnitt in einem Übergangsbereich vom Prall- zum Gleithang liegt, können unterschiedlich große Einwirkungen berücksichtigt werden. Voruntersuchungen haben gezeigt, dass die maßgebenden Strömungsgeschwindigkeiten in Ufernähe etwa zwischen 1,4 m/s (bei km 441,6) und 2 m/s (bei km 440,6) zu erwarten sind. Maßgebend ist dabei überwiegend die Wiederauffüllungsströmung infolge Schifffahrt. Der maximale Absenk und die maximalen Heckwellenhöhen werden etwa zwischen 0,25 m und 0,45 m bzw. 0,35 m und 1,10 m liegen. Nach Rückbau der Steinschüttungen sind überwiegend alternative Maßnahmen vorgesehen, die einen sofortigen Erosionsschutz garantieren wie beispielsweise Spreitlagen, bepflanzte Böschungsschutzmatten, vorgefertigte Kammerdeckwerke. Zum Teil bleiben die vorhandenen Wasserbausteine erhalten und werden durch zusätzliche Steckhölzer oder Kiesüberschüttung ökologisch aufgewertet. Der Einbau der neuen Ufersicherungen wird voraussichtlich Anfang 2011 erfolgen. Ein umfangreiches Monitoringprogramm wird über mehrere Jahre durchgeführt. Dabei wird die Vegetationsentwicklung dokumentiert, die Uferstabilität kontrolliert, die hydraulischen Belastungen bei verschiedenen Wasserständen gemessen und die Entwicklung der Fauna beobachtet. Auch alle anderen Faktoren, die die Dauerhaftigkeit biologischer Ufersicherungen beeinflussen - wie z.B. Überflutungszeiten, Niederschläge, Trockenzeiten, Beschattung, Vandalismus - werden erfasst und mit ausgewertet.

## 6 Ausblick

Anwendungsempfehlungen und Bemessungsgrundlagen für alternative technisch-biologische Ufersicherungen werden in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie an Binnenwasserstraßen dringend benötigt. Neben theoretischen Überlegungen, weiterführenden Untersuchungen im Labor und in bestehenden Wasserstraßenabschnitten mit bereits bestehenden alternativen Ufersicherungen hat insbesondere die geplante

Versuchsstrecke am Rhein in diesem Zusammenhang einen wichtigen Pilotcharakter. Es ist zu erwarten, dass die Ergebnisse nicht nur auf weitere Rheinabschnitte übertragbar sein werden, sondern auch wichtige Impulse für mögliche Uferumgestaltungen an anderen Wasserstraßen geben können. Insgesamt werden so die Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen alternativer Ufersicherungen nach und nach weiter ergänzt und präzisiert. Bei zukünftigen ökologischen Uferumgestaltungen, insbesondere im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung an Binnenwasserstraßen, die mit dem Rückbau einer vorhandenen technischen Ufersicherung einhergehen, werden allerdings trotzdem in der Regel detaillierte Untersuchungen im Einzelfall erforderlich sein.

## 7 Literatur

- GBB (2004). Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen, Mitteilungsblatt Nr. 87, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- MAR (2008). Merkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- Florineth (2004). Projekt „Neuer Wienfluss“, Messungen an der ingenieurbioologischen Versuchsstrecke, Endbericht 1998 – 2003, Wien
- Holfelder, Kayser (2006). Berücksichtigung von Porenwasserüberdrücken bei der Bemessung von Deckwerken an Wasserstraßen, Beiträge zum 5. Geotechnik-Tag in München, Schriftenreihe der TU München, Heft 38
- BAW, BfG (2008). Untersuchungen zu alternativen, technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen, Teil 2: Versuchsstrecke Stolzenau/Weser, km 241,550 bis km 242,300, Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Eigenverlag, Karlsruhe/ Koblenz

Autoren:

Dipl.-Ing. Petra Fleischer

Bundesanstalt für Wasserbau  
Abteilung Geotechnik  
Kussmaulstr. 17  
76187 Karlsruhe

Tel.: +49 721 9726 3570  
Fax: +49 721 8726 4830  
E-Mail: [petra.fleischer@baw.de](mailto:petra.fleischer@baw.de)

Dipl.-Ing. Jeannine Eisenmann  
Dr.-Ing. Renald Soyeaux

Tel.: +49 721 9726 5260  
Tel.: +49 721 9726 3650  
[jeannine.eisenmann@baw.de](mailto:jeannine.eisenmann@baw.de)  
[Renald.soyeaux@baw.de](mailto:Renald.soyeaux@baw.de)